中国生物多样性监测与研究网络建设及进展

冯晓娟[1,4*]　米湘成[1]　肖治术[2,4]　曹　垒[3,4]　吴　慧[1]　马克平[1,4]

1 中国科学院植物研究所 北京 100093
2 中国科学院动物研究所 北京 100101
3 中国科学院生态环境研究中心 北京 100085
4 中国科学院大学 北京 100049

摘要　生物多样性是人类生存和社会发展的基础，生物多样性的监测与研究是支撑我国生态文明和“美丽中国”建设的科学基础。为实现我国典型区域重要类群中长期变化态势分析的目标，中国生物多样性监测与研究网络（Sino BON）于2013年启动建设，在“十二五”和“十三五”规划的重点支持以及中国科学院19个研究所的共同努力下，建成了覆盖全国30个主点和60个辅点，包含针对动物、植物、微生物等多种生物类群的10个专项监测网和1个综合监测管理中心。目前，Sino BON打造了以森林动态大样地为平台的生物多样性综合研究模式，建成了以近地面遥感、卫星追踪、分子生物学等先进技术为支撑的生物多样性网络监测体系，在森林大样地平台建设与研究、大型动物监测网络、卫星追踪鸟类迁徙等方面取得了突出的成果。未来，Sino BON将通过核心监测点与辅助监测点结合的方式，结合地面人工观测与连续数据自动采集技术，进一步优化生物多样性监测的内容和空间布局；同时整合国内和国际生物多样性研究的技术力量，加强多物种、多营养级互作关系的研究，为我国生物多样性监测和研究发挥示范和引领作用。

关键词　生物多样性，监测与研究，森林，兽类，鸟类

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.2019.12.008

生物多样性是人类生存和社会发展的基础，是生态文明建设和民族永续发展的保障；生物多样性科学也被称为“关于人类未来的科学”。对生物多样性的监测与研究是生态学研究的国际前沿之一，是21世纪亟待突破的自然科学领域，也是支撑我国生态文明和“美丽中国”建设的科学基础。目前，在气候变化、

*通讯作者
资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（A类）（XDA19050403）
修改稿收到日期：2019年11月21日

人为干扰等多重的环境压力下，我国正面临生物栖息地丧失、生物多样性下降的严峻局面。在此背景下，对我国关键生态系统类型以及重要栖息地的生物类群进行长时期、全方位、多类群的多样性监测，对于摸清我国生物多样性的资源家底、时空动态、威胁因子和保护现状具有重要的战略意义，也将为我国生物多样性及重要生物资源的保护管理和有效利用提供科技支撑。

生物多样性具有明显的空间异质性，网络化监测可以较系统地掌握监测对象中生物多样性变化的总体格局。全球、区域或者国家水平的专题性监测网络颇有成效，如环北极监测网①、瑞士的生物多样性监测网络②等。中国科学院生物多样性委员会于2004年组织有关研究所的科研人员和院外相关单位的合作者共同建设了中国森林生物多样性监测专项网（CForBio），该专项网目前已发展为全球森林生物多样性研究最活跃的组织之一。在CForBio的基础上，中国科学院按照"科学规划、统一布局"的原则于2013年启动建设中国生物多样性监测与研究网络（Sino BON）。网络以野外监测样地、样带、样点建设为核心，借助分子生物学技术、计算机信息技术、数码影像和遥感技术、3D形态识别与分析技术等现代科学技术手段，从基因、物种、种群、群落、生态系统和景观等水平上对生物多样性进行多层次的全面监测与系统研究，以实现全国典型区域重要类群中长期变化态势分析的目标，为国家履行《生物多样性公约》、保护生物多样性和生物资源提供详实可靠的生物多样性变化数据，为科普、教育、科研、生产与保护等各领域提供多样化的信息服务与决策支持。2014年，Sino BON被亚太地区生物多样性监测网络（AP BON）和全球生物多样性监测网络（GEO BON）正式接受成为其成员网络。

① http://caff.is/monitoring.

② http://www.biodiversitymonitoring.ch/en/home.html.

1 Sino BON概述

Sino BON包括针对动物、植物、微生物多样性监测的10个专项网和1个综合监测管理中心，监测范围涵盖了全国30个主点和60个辅点。综合监测管理中心在Sino BON办公室领导下负责标准规范的制定，汇交信息管理平台建设以及近地面遥感监测。

（1）动物多样性监测专项网，包括：*① 兽类多样性监测专项网*，主要是通过红外触发相机推动全国兽类生物监测网络建设，建立我国野生动物红外相机监测规范和数据分析规范，并建立第一个野生动物多样性监测图像数据管理系统，对兽类物种组成、种群动态及其相关驱动因子和生态影响开展长期监测；*② 鸟类多样性监测专项网*，主要通过卫星追踪技术的应用推动鸟类迁徙规律的监测与研究，阐明环境变化对鸟类运动模式、种群数量和遗传多样性的影响机制；*③ 两栖爬行类多样性监测专项网*，主要通过在全国典型区域监测点布设样方和样带来监测两栖爬行动物及其群落的时空变化，深入研究各类群捕食、竞争、共生等种间关系和动态；*④ 内陆水体鱼类多样性监测专项网*，运用水下机器人和鱼探仪等先进设备对重要水域的指示性鱼类开展长期监测，揭示气候变化和人类活动等与水生态系统关键鱼类类群的种群变化之间的关系；*⑤ 昆虫多样性监测专项网*，选择重要昆虫类群（如蝴蝶、传粉昆虫、地表甲虫、蚜虫等），对其种类和数量进行长期监测，分析和评价昆虫多样性变化及其关键影响因素；*⑥ 土壤动物多样性监测专项网*，选择我国典型区域的地带性植被类型，分别以大型、中型和小型土壤动物的代表性类群为对象，就物种多样性、食性与功能群及土壤动物生存环境变化等开展长期监测。

（2）植物多样性监测网，包括：*① 森林植物多*

样性监测专项网，在重要森林和灌丛群落的典型地段建立模式植物群落，并将其与大型森林样地建立联系，在区域到全国尺度上构建森林监测网络，同时加强大样地网络的功能性状等监测，并与动物和微生物多样性监测专项网合作，推动森林生物多样性变化的全面监测；② 草原荒漠植物多样性监测专项网，以植被分类系统的群系为基本单元，在草原荒漠植被主要群系的典型地段建立模式植物群落监测固定样方，定期复查，统一描述规范，长期监测草原荒漠植物多样性变化；③ 林冠生物多样性监测专项网，通过在我国典型森林植被区安装 8 个森林塔吊，构建了林冠生物监测的世界级平台（全球共 19 个），并开展了孢子植物、无脊椎动物和树栖微生物等地带性森林林冠生物多样性的调查与监测。

（3）微生物多样性监测网，包括：土壤微生物多样性监测专项网，采用现代高通量测序技术、生物信息学技术和传统的微生物学方法，对森林、草原和荒漠等不同植被类型的土壤微生物的群落组成、多样性及土壤基因组的组成与多样性等开展长期定点监测，以揭示土壤微生物物种和基因多样性的分布规律和时空格局变化。

2 Sino BON的重要成果

在“十二五”和“十三五”规划的重点支持以及中国科学院 19 个研究所的共同努力下，Sino BON 打造了以森林动态大样地为平台的生物多样性综合研究模式，建成了以近地面遥感、卫星追踪、分子生物学等先进技术为支撑的生物多样性网络监测体系，构建了覆盖我国主要生态系统类型、涵盖多种生物类群的生物多样性研究综合平台。在过去几年中，Sino BON 下启动较早的 3 个旗舰子网在森林大样地平台建设与研究、大型动物监测网络、卫星追踪鸟类迁徙等方面取得了标志性的重要成果，为我国生物多样性监测与研究工作的开展起到了示范作用。

2.1 打造了森林动态大样地综合研究平台

森林是地球上生物多样性最丰富的生态系统之一。我国森林覆盖面积广、类型众多，植物物种丰富。随着我国社会经济的迅速发展以及“退耕还林（草）”“天然林保护”等重大生态工程的实施，我国的森林覆盖、组成以及多样性都发生了巨大的变化。长期有效地对森林植物多样性进行监测，对于进一步解释森林物种共存及群落动态，以及预测未来森林生物多样性和生态系统功能的变化趋势有着重要意义；也为森林可持续经营及生物多样性保护提供可靠的科学依据[1]。

森林植物多样性监测专项网（以下简称“森林网”）③自 2004 年开始建设，目前已在全国建成了 18 个大型的固定监测样地，以及 50 多个 1—5 ha 的辅助样地，覆盖了寒温带针叶林、温带针阔混交林、暖温带落叶阔叶林、亚热带常绿阔叶林、热带雨林等我国主要的地带性森林类型，是全球第一个具有完整纬度梯度的森林监测研究网络[2]。森林网长期开展模式植物群落（群落特征参数及其所在环境的部分特征参数）和植物功能性状（形态性状、生理性状、物候性状）的动态观测和研究，科学目标是在全国尺度上研究不同典型地带性森林的生物多样性维持机制及生物多样性变化效应，同时对重大生态保护工程的生物多样性保护效果进行有效性评估和验证型监测[2]。近年来，大型动态样地已经从建立之初的以群落生态学研究为主发展为多学科交叉的生物多样性科学综合研究平台。森林网的建设极大地推动了森林生物多样性的相关研究。自 2014 年以来，共发表森林网相关成果论文约 219 篇，其中 SCI 论文 171 篇，在国内外同行中产生了非常积极的影响。其主要成果包括 3 个方面。

③ http://www.cfbiodiv.org/.

（1）利用功能性状、转录组和长期监测数据，从多个角度阐明了植物多样性分布格局的内在机制，支撑了生物多样性理论的发展。利用森林网长期监测数据发现，不同植被类型的群落中物种分布大部分呈聚集状态[3]，不同纬度地带的森林中都存在普遍的密度制约现象[4]，生态位过程和中性过程在森林的群落构建中共同发挥着重要作用[5]，系统发育结构和功能结构都普遍显著地偏离随机结构[6]，群落内的种间均存在较强的相互作用，且温带树种间比热带作用更强[7]。此外，将个体水平的功能性状引入树木生长模型，结合对古田山森林动态大样地 59 个物种 822 株树的季节性生长动态监测，发现植物生长的差异主要由个体水平上的功能策略差异造成[8]，是形成群落季节性动态的根本原因。进一步利用转录组学技术，发现与光相关的同源基因相似性对古田山 85 种木本植物幼苗存活产生显著影响，从而证明了光环境的过滤作用对群落多样性格局形成的重要性[9]。以上工作突破了传统研究方法的局限性，推进了新方法和新技术在生物多样性研究方面的应用，并促进了学术界对我国森林生物多样性形成和维持机制的理解。

（2）揭示了森林群落中植物与微生物的互作机理，开启了多类群交互关系研究的新阶段。微生物与植物的相互作用是森林多样性研究中不可或缺且亟待加强的部分。Gao 等[10]通过对古田山亚热带山地森林土壤真菌群落的研究发现，不同地形条件下土壤真菌和植物间的关联存在明显分异：山脊生境中，微生物多样性与植物多样性、土壤养分和湿度显著相关；而在山谷生境中，微生物多样性与生境凸度及植物大小显著相关。此外，谱系相关性是形成植物和微生物互惠共生网络的重要原因，植物及其丛枝菌根菌共生体的谱系保守性是亚热带常绿阔叶林群落构建机制之一[11]。以上研究凸显了不同生物类群的交互作用是维持生物多样性的重要机制，多物种、多营养级互作关系的研究也是森林大样地未来工作的重点之一。

（3）发展了近地面遥感与森林网实测数据相结合的研究体系，为森林生物多样性监测与研究方面发挥了示范作用。近年来，随着无人机在生态学中应用的快速发展，使得森林生物多样性的研究实现了从点到面的拓展。由森林网主办的“激光雷达森林生态应用培训班”自 2015 年已经成功举办 5 届，来自中国科学院、北京大学、国家林业科学院等 100 余家院校和科研单位的参会人员达 1 000 名，促进了激光雷达在森林生物多样性监测领域的发展和应用。在鼎湖山亚热带森林动态样地，通过无人机搭载相机拍摄高分辨率影像获取林冠参数（林窗和林冠高度），并将其与地面森林网实测数据结合，更好地解析了森林植物多样性的空间分布格局[12]。当前激光雷达（LiDAR）、高光谱和多光谱等设备在森林动态样地及更大范围的应用，使得森林三维可视化与更多功能性状数据的自动获取成为可能，是未来研究森林群落构建机制的全新方向。

2.2 红外相机技术应用推动了全国大型动物监测网络的建设

兽类类群和物种多样，分布范围广，适应于多种的生境类型，对栖息地变化特别敏感，是生物多样性保护管理与评价的关键指示类群。长期以来，我国对兽类本底资源仍未完全掌握，许多重要物种的种群现状及动态尚不清楚，缺乏长期监测数据。例如，2007 年在陕西镇坪发生的“华南虎事件”凸显我国兽类资源长期监测的不足。许多大中型兽类是重要的珍稀濒危物种，因此对我国珍稀兽类资源的监测和研究仍面临巨大的挑战。开展兽类资源保护、濒危物种适应策略、致危过程和机制的研究需要多样化和层次化的数据资料。

兽类多样性监测专项网（以下简称“兽类网”）是 Sino BON 的专项网之一，重点对分布于我国境内的陆生兽类物种多样性及资源进行监测与研究。根据我国兽类资源的地理分布特征和多样性格局，兽类网建

立依靠红外相机监测技术、计算机信息技术、“3S”技术等先进监测技术的公共服务平台，完善监测标准与技术规范，探索兽类资源常态监测的长期方案，促进国家兽类资源监测网络化和信息化发展，实现对我国重点区域内兽类本底资源开展长期调查和监测，为国家生物多样性保护和生物资源可持续利用提供科学数据和咨询建议。兽类网拟重点关注以下内容：① 探讨全球变化背景下我国兽类多样性变化趋势及其关键驱动因子，阐明我国兽类多样性分布及其格局形成、演变与维持机制，阐明兽类种群和群落动态对全球变化的响应机制；② 探讨我国兽类多样性变化所造成的生态后果，如顶级捕食者的功能缺失对猎物种群和植被动态的影响；③ 探讨珍稀濒危物种的种群动态、繁殖生物学、遗传学特性与其种群维持及恢复的关系，揭示濒危物种的生态与遗传学机制，阐明珍稀濒危物种的致濒因子及其保护对策，为以国家公园为主体的自然保护地建设提供科技支撑和决策依据[13]。目前，兽类网的主要工作进展包括4个方面。

*（1）全面建设以红外触发相机为核心技术的监测示范样区，开展合作研究与示范应用，推进了我国大型动物的网络化监测与研究。*兽类网在中国科学院、中华人民共和国人与生物圈国家委员会和国际动物学会等部门的支持下，与国内多家科研院所和保护区开展合作研究，在全国陆续建立了兽类监测示范样区30余个，涉及大兴安岭寒温带森林、针阔混交林、落叶阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、常绿阔叶林、西双版纳热带森林等我国主要森林植被类型。每个监测样区布设了20—150台红外相机，采用公顷网格方案和公里网格方案监测大中型兽类和地面活动鸟类[13,14]。

*（2）率先制定我国大中型动物红外相机监测技术规范，确保监测数据的科学性、一致性和可比性。*兽类网建立以来致力于建立和完善基于红外相机技术的我国野生动物（兽类）多样性技术规范和数据分析标准。自2014年以来，在全国范围内和相关自然保护区开展了50余次不同层次的监测技术培训和数据分析培训，培训各类学员4 000余人次，培养了野生动物监测研究队伍，为全面推进我国野生动物红外相机联网监测研究工作起到了承前启后的作用。与国家林业和草原局合作制定的《全国野生动物自动相机法调查监测技术规程细则》于2017年发布。该技术规范和标准的实施有助于实现对我国自然保护地陆生大中型动物生物多样性的规范化、标准化监测和研究，有利于与全国自然保护地生物多样性进行比较研究，极大地推动了我国自然保护地野生动物资源常规监测研究和生物多样性保护的发展。

*（3）组织研发兽类多样性监测的图像数据管理系统，为野生动物保护研究提供大数据支撑。*兽类网率先在国内研发了针对红外相机监测数据的图像数据管理系统CameraData（v1.0）④。该系统为所有上传的图像数据建立规范的分析标准，实现了网络化管理和远程共享，并将按监测区域和类群（物种）建立多种类型的数据库、图片库和物种分布地图等[15]。目前，CameraData收集了来自全国40余个监测样区图像数据，超过300多万张，已鉴定兽类110余种和鸟类270余种，为开展大中型兽类种群和群落多样性长期监测研究建立科学大数据平台。

*（4）为以国家公园为主的自然保护地体系建设提供科技支撑。*通过红外相机技术的应用，从全国尺度上获得了我国众多重要大中型动物的分布和种群数据，涉及大熊猫、金丝猴、雪豹等国家I级、II级重点保护野生动物达200多种，同时记录了食腐、捕食、领地标记和繁殖等野生动物鲜为人知的行为。通过获取旗舰物种和关键物种的种群数量、空间分布等数

④ http://cameradata.ioz.ac.cn.

据，为以国家公园为主的自然保护地体系建设提供了科学决策依据。

2.3 利用卫星追踪技术监测鸟类迁徙

鸟类是生物多样性评估与监测以及生态环境可持续发展的重要评价指标[16]。2006 年《生物多样性公约》第八次缔约方会议确定了生物多样性指标联盟体系，在所有 29 项具体指标中，有 4 项指标包括了对鸟类的种类、数量、分布以及受胁等级变化的评估[17]。根据公约，世界各国都有义务开展鸟类的长期监测工作，为全球生物多样性评估提供数据。全球有 9 条鸟类迁徙路线，由于人口和经济的快速增长，东亚—澳大利亚迁徙路线 50% 的已知种群数量下降，成为全球最受威胁的迁徙路线。中国处于中亚和东亚迁徙路线的中心位置，至关重要。中国目前记录鸟类 1 445 种，特有种 93 种[18]，分为迁徙鸟和留鸟两大类群。国际社会非常期待中国科学家能够领头推动迁徙路线鸟类的研究和保护工作以及丰富鸟类资源的形成与保持机制。

中国鸟类多样性监测专项网（以下简称“鸟类网”）根据发展目标，拟定了 3 期 15 年的工作规划：第一期（2014—2018 年），建立东亚五国和俄罗斯紧密合作的团队，在东亚开展对重要物种和重要区域的监测研究；第二期（2019—2023 年），在欧亚大陆建立野外监测站，建立数据共享机制，创立基于大数据的分析方法，实现亚欧大陆鸟类监测和研究的信息化，推动学科发展；第三期（2024—2028 年），在全球建立野外监测站，建立全球鸟类监测和研究的信息化系统，掌握并预测鸟类的分布格局和趋势，阐明环境变化对鸟类运动模式、种群数量和遗传多样性的影响机制。该工作规划和国际顶尖杂志对行业发展的预期不谋而合，将开启动物生态学研究的新纪元[19,20]。同时，迁徙鸟类携带先进生物遥测设备，追随季节性资源，在年生活周期中利用不用的区域生活，其迁徙路线及规律可阐明生态系统及鸟类多样性之间的关联和耦合，对评估生态风险和构建生态安全战略具有重要意义[21,23]。

鸟类网首批在全国布局了 38 个监测位点。自 2014 年以来，每年 1—2 月开展鸟类重要越冬区同步调查，覆盖长江中下游五省的 88 个湖泊共 1 038 个区域，面积 13 037 平方公里，监测物种 98 种。基于监测数据，确定了全国 422 个重要鸟类和生物多样性位点[22]，被纳入国家生态红线保护的范围，服务于生态安全格局部署。相关研究结果在 *Nature Communications*、*Current Biology* 等国际期刊发表[24-27]，推动了新兴学科“运动生态学”在我国的发展及创新。因此，英国鸟类学会邀请曹垒在其 2019 年年会上作了题为《利用水鸟遥测数据支持中国淡水湿地保护》的荣誉讲席报告（Alfred Newton Lecture）。鸟类网的主要工作进展包括 4 个方面。

（1）主持建立了亚洲最大的鸟类实时在线监测系统，为深度参与全球生态环境治理奠定了数据基础。通过 2014 年和 2017 年主办国际会议等交流方式，联合俄罗斯、蒙古国、韩国、日本等国的 40 多位鸟类学家，签署合作协议，共建立 16 个国外监测位点，将监测工作扩展到了欧亚大陆，填补了国外合作监测位点的空白，得到中央电视台《新闻联播》报道。位点主要分布在北极的大河河口、蒙古高原湿地、中-俄边界的黑龙江流域、日本和韩国沿海湿地、哈萨克斯坦北部、格陵兰岛、德国、丹麦和爱尔兰等重要鸟区。主持建立了亚洲最大的鸟类实时在线监测系统和数据库，共在 63 种 2 509 只鸟类个体上安装了遥测设备，确立了这些物种迁徙路线的结构，为其年生活周期中关键位点的研究和保护奠定了数据基础，以及为中国联合俄罗斯与东亚五国深度参与全球生态环境治理奠定了数据基础。

（2）证实了野生雁类受困于长江湿地。对 5 个物种 67 只野生雁类的高科技追踪结果表明，不同于北美、欧洲及邻近的日本和韩国，中国的雁类不愿意从

它们世代栖息的湿地迁移到农田中觅食。证实了这些鸟类仍忠于其世代相传的栖息地。研究结果可以解释同一物种在不同越冬地的种群趋势：在日本和韩国越冬的雁类在农耕地中以稻谷等为食物，其种群数量不断增长。而中国的越冬雁类受困于湿地中，以有限的湿地资源为食物。它们极少在周围的农耕地觅食。这可能是因为农民在农田中放养家鹅和家鸭导致留给野生雁群的食物极少，以及离开湿地的雁类面临更高的非法捕杀风险[25]。

（3）发现了中国东北是东亚迁徙路线最重要的停歇地，而俄罗斯远东的泰加林是水鸟迁徙的天然屏障。鸟类迁徙中的迁徙屏障，可以极大地影响迁移策略。发现并理解迁徙屏障对迁徙的影响，与迁徙鸟类保护密切相关。研究追踪了44只在北极繁殖的大体型水鸟。通过追踪数据首次发现，尽管这些鸟的生态环境和迁徙路线不同，但是它们均不停歇地飞越远东地区的针叶林。这意味着泰加林缺乏这些长途迁徙候鸟合适的栖息地。该结果强调了中国东北春季迁徙停歇地以及鸟类秋季迁徙出发前北极地区的极端重要性——确保鸟类能顺利跨越荒凉的泰加林生物群落，以便维护这些群体在整个年度周期的需要[26]。

（4）证明了“驱动鸟类迁徙的绿色波浪理论”不具普适性，为迁徙鸟类的研究和保护提出了新思路。“绿色波浪”假说是关于动物迁徙驱动机制的经典理论，认为食草动物的迁徙是由区域植物叶片生长的高峰驱动。为系统地检验“绿色波浪”假说，鸟类网研究者创新地引入了随机模拟方法，研究了欧洲、亚洲和北美洲的迁徙天鹅、雁类和鸭类，共10个物种、14个种群、222次春季迁徙。结果显示，“绿色波浪”仅能解释个别地区少量草食性种群的迁徙模式。研究表明，“绿色波浪”不是草食性水鸟春季迁徙的普遍驱动因素，迁徙屏障和人为干扰均对迁徙鸟类追随绿色波浪造成不利影响，这为迁徙鸟类的研究和保护提出了新思路[27]。

3 展望

自成立以来，Sino BON针对我国和国际生物多样性保护的热点问题，开展了系统、深入的监测与研究，在生物多样性理论研究、技术示范与推广以及生物与生境保护方面发挥了重要的作用，为科普、教育、科研、生产与保护等各领域提供了多样化的信息服务与决策支持，也为我国生物多样性及重要生物资源的保护管理和有效利用提供了科技支撑。针对生物多样性监测与研究向“多营养级交叉、大数据整合”方向发展的国际态势，Sino BON在监测数据的整合管理与共享以及跨学科的交叉研究方面仍有待加强。未来拟在以下3个方面得以突破，全面提升我国生物多样性科学的研究水平和科技服务能力，为应对生物多样性保护的相关评估、咨询和履约责任提供关键科技支撑。

（1）将核心监测点与辅助监测点相结合，优化监测内容与监测点的空间布局。未来生物多样性监测，既需要兼顾核心样地的建设，也需要在全国水平布局监测辅点，为生物多样性的实时国情报告提供支撑数据。未来计划整合Sino BON和国内外生物多样性研究的技术力量，在全国重点区域全面建设一批生物多样性野外科学观测站（不少于30个），逐渐形成我国基于生物多样性的野外科学观测实体台站网络；同时，针对关键生物类群的分布与迁徙特点，建设辅助样地，优化全国尺度的监测网络。

（2）加强多物种、多营养级交互作用的研究。近年的研究表明，多营养级、多物种之间的交互作用对生物多样性具有重要影响。例如，大型兽类和昆虫的消失往往影响植物的传粉和互作，从而影响植物多样性。然而，以往的野外观测往往依赖某一领域的专家进行专业观测，多营养级之间的交互作用和网络观测亟待加强。森林网的大样地及其卫星样地为兽类、两栖类、昆虫和土壤微生物的研究提供生境的背景，

Sino BON 未来工作将利用森林大样地，逐步打造多学科、多营养级交互的综合研究平台。

（3）优化数据管理，建立综合性监测数据信息服务共享平台。大数据分析和共享数据平台的搭建是当前科学发展的趋势和方向。生物多样性监测数据信息服务共享平台的搭建有助于生物多样性数据的采集，并促进对生物多样性形成机制、变化机理的研究。未来 Sino BON 对监测数据的管理应集成关键的生物多样性监测技术，同时整合物联网、智能技术、云计算与大数据等新一代信息技术，以全面感知、实时传送和智能在线处理为运行方式，开展多源数据的实时采集、网络化、智能化等天地一体化综合观测。搭建面向科研人员、管理者和公众的生物多样性科学共享平台，通过智能平台汇集并整合多方法、多单位、多区域的监测数据，实现数据综合管理、展示和用户智能化管理，促进多层面、多尺度的交流、合作与共享，有效提高科学数据的利用效率与社会价值。

参考文献

1 马克平. 森林动态大样地是生物多样性科学综合研究平台. 生物多样性, 2017, 25(3): 227-228.

2 米湘成, 郭大立, 郝占庆, 等. 中国森林生物多样性监测: 科学基础与执行计划. 生物多样性, 2016, 24(11): 1203-1219.

3 Hao Z Q, Zhang J, Song B, et al. Vertical structure and spatial associations of dominant tree species in an old growth temperate forest. Forest Ecology and Management, 2007, 252(1-3): 1-11.

4 Bin Y, Lin G, Li B, et al. Seedling recruitment patterns in a 20 ha subtropical forest plot: hints for niche-based processes and negative density dependence. European Journal of Forest Research, 2012, 131(2): 453-461.

5 Legendre P, Mi X, Ren H, et al. Partitioning beta diversity in a subtropical broad-leaved forest of China. Ecology, 2009, 90(3): 663-674.

6 Liu X J, Swenson N G, Zhang J L, et al. The environment and space, not phylogeny, determine trait dispersion in a subtropical forest. Functional Ecology, 2013, 27(1): 264-272.

7 Wang X G, Wiegand T, Hao Z Q, et al. Species associations in an old-growth temperate forest in north-eastern China. Journal of Ecology, 2010, 98(3): 674-686.

8 Liu X J, Swenson N G, Lin D M, et al. Linking individual-level functional traits to tree growth in a subtropical forest. Ecology, 2016, 97(9): 2396-2405.

9 Han B C, Umana M N, Mi X C, et al. The role of transcriptomes linked with responses to light environment on seedling mortality in a subtropical forest, China. Ecology, 2017, 105(3): 592-601

10 Gao C, Shi N N, Liu Y X, et al. Host plant genus level diversity is the best predictor of ectomycorrhizal fungal diversity in a Chinese subtropical forest. Molecular Ecology, 2013, 22(12): 3403-3414.

11 Chen L, Zheng Y, Gao C, et al. Phylogenetic relatedness explains highly interconnected and nested symbiotic networks of woody plants and arbuscular mycorrhizal fungi in a Chinese subtropical forest. Molecular Ecology, 2017, 26(9): 2563-2575.

12 Zhang J, Hu J B, Lian J Y, et al. Seeing the forest from drones: Testing the potential of lightweight drones as a tool for long-term forest monitoring. Biological Conservation, 2016, 198: 60-69.

13 肖治术, 李学友, 向左甫, 等. 中国兽类多样性监测网的建设规划与进展. 生物多样性, 2017, 25(3): 237-245.

14 肖治术, 李欣海, 王学志, 等. 探讨我国森林野生动物红外相机监测规范. 生物多样性, 2014, 22(6): 704-711.

15 肖治术, 王学志, 李欣海. 野生动物多样性监测图像数据管理系统CameraData介绍. 生物多样性, 2014, 22(6): 712-716.

16 Butchart S H, Walpole M, Collen B, et al. Global biodiversity:

Indicators of recent declines. Science, 2010, 328(5982): 1164-1168.
17 Ma K P. Assessing progress of biodiversity conservation with monitoring approach. Biodiveristy Science, 2011, 19(2): 125-126.
18 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录（第二版）. 北京: 科学出版社, 2017.
19 Curry A. The internet of animals that could help to save vanishing wildlife. Nature, 2018, 562(7727): 322-326.
20 Kays R, Crofoot M C, Jetz W, et al. Terrestrial animal tracking as an eye on life and planet. Science, 2015, 348(6240): 2478.
21 Bauer S, Hoye B J. Migratory animals couple biodiversity and ecosystem functioning worldwide. Science, 2014, 344(6179): 1242552.
22 Zhang L, Wang X, Zhang J, et al. Formulating a list of sites of waterbird conservation significance to contribute to China's Ecological Protection Red Line. Bird Conservation International, 2017, 27(2): 153-166.
23 Wikelski1 M, Tertitski G. Living sentinels for climate change effects: Migrating birds affected by climate change in the Arctic may have lower survival chances in their tropical habitats. Science, 2016, 352(6287): 775-776.
24 Cao L, Fox A D. Birds and people both depend on China's wetlands. Nature, 2009, 460: 173.
25 Yu H, Wang X, Cao L, et al. Are declining populations of wild geese in China "prisoners" of their natural habitats? Current Biology, 2017, 27(10): 376-377.
26 Wang X, Cao L, Bysykatova I, et al. The Far East taiga forest: Unrecognized inhospitable terrain for migrating Arctic-nesting waterbirds? Peer J, 2018, 6: e4353.
27 Wang X, Cao L, Fox A D, et al. Stochastic simulations reveal few green wave surfing populations among spring migrating herbivorous waterfowl. Nature Communications, 2019, 10: 2187.

Overview of Chinese Biodiversity Observation Network (Sino BON)

FENG Xiaojuan[1,4*] MI Xiangcheng[1] XIAO Zhishu[2,4] CAO Lei[3,4] WU Hui[1] MA Keping[1,4]
（1 Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China;
2 Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
3 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;
4 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China）

Abstract Biodiversity is key to the foundation and development of human society. Biodiversity monitoring and research provide essential scientific support for the national development of ecological civilization and for building a beautiful China. To monitor the dynamic distribution of important species in typical ecoregions of China, Chinese Biodiversity Observation Network (Sino BON) was founded in 2013 under the supports of 19 institutes of the Chinese Academy of Sciences and the sponsorship of the 12th and 13th Five-Year Plans. Covering 30 main sites and 60 affiliated sites all over China, Sino BON includes 10 subnetworks specialized at monitoring different groups of species including animals, plants, and microbes and one network management center. Currently, Sino BON has established a crosscutting research platform for biodiversity science based on forest dynamics plots, combining near-surface remote

* Corresponding author

sensing, satellite tracking, and molecular biology techniques. Considerable advances have been achieved in the construction and research on forest dynamics plots, observation network of big-sized animals, migration of birds using satellite tracking systems, etc. Future work will optimize the spatial distribution of sites as well as monitoring subjects employing man-made ground observations and automatic data logging systems at the main and affiliated sites. More efforts will also be paid to synergize domestic and international research on the interactions between multi-species and multi-nutrient levels in order for Sino BON to play a leading role in biodiversity monitoring and research in China.

Keywords biodiversity, monitoring and research, forests, animals, birds



冯晓娟 中国科学院植物研究所所长特别助理，研究员。中国生物多样性监测与研究网络（Sino BON）办公室主任，植被与环境变化国家重点实验副主任，中国生态学学会稳定同位素生态专业委员会委员，《植物生态学报》编委。主要研究领域：生物地球化学、碳循环、全球变化。E-mail: xfeng@ibcas.ac.cn

FENG Xiaojuan Professor and special assistant to the director of Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences (IBCAS). She is the Dean of Office for Chinese Biodiversity Observation Network (Sino BON), Vice Dean of State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Committee Member of Stable Isotope Ecology in the Ecological Society of China and Editorial Board Member of *Chinese Journal of Plant Ecology*. Her research fields cover biogeochemistry, carbon cycling, and global changes. E-mail: xfeng@ibcas.ac.cn

■责任编辑：岳凌生

参考文献（双语版）

1 马克平. 森林动态大样地是生物多样性科学综合研究平台. 生物多样性, 2017, 25(3): 227-228.

Ma K P. Forest dynamics plot is a crosscutting research platform for biodiversity science. Biodiversity Science, 2017, 25(3): 227-228. (in Chinese)

2 米湘成, 郭静, 郝占庆, 等. 中国森林生物多样性监测：科学基础与执行计划. 生物多样性, 2016, 24(11): 1203-1219.

Mi X C, Guo J, Hao Z Q, et al. Chinese forest biodiversity monitoring: Scientific foundations and strategic planning. Biodiversity Science, 2016, 24(11): 1203-1219. (in Chinese)

3 Hao Z Q, Zhang J, Song B, et al. Vertical structure and spatial associations of dominant tree species in an old growth temperate forest. Forest Ecology and Management, 2007, 252(1-3): 1-11.

4 Bin Y, Lin G J, Li B H, et al. Seedling recruitment patterns in a 20 ha subtropical forest plot: Hints for niche-based processes and negative density dependence. European Journal of Forest Research, 2012, 131(2): 453-461.

5 Legendre P, Mi X C, Ren H B, et al. Partitioning beta diversity in a subtropical broad-leaved forest of China. Ecology, 2009, 90(3): 663-674.

6 Liu X J, Swenson N G, Zhang J L, et al. The environment and space, not phylogeny, determine trait dispersion in a subtropical forest. Functional Ecology, 2013, 27(1): 264-272.

7 Wang X G, Wiegand T, Hao Z Q, et al. Species associations in an old-growth temperate forest in north-eastern China. Journal of Ecology, 2010, 98(3): 674-686.

8 Liu X J, Swenson N G, Lin D M, et al. Linking individual-level functional traits to tree growth in a subtropical forest. Ecology, 2016, 97(9): 2396-2405.

9 Han B C, Umana M N, Mi X C, et al. The role of transcriptomes linked with responses to light environment on seedling mortality in a subtropical forest, China. Ecology, 2017, 105(3): 592-601

10 Gao C, Shi N N, Liu Y X, et al. Host plant genus level diversity is the best predictor of ectomycorrhizal fungal diversity in a Chinese subtropical forest. Molecular Ecology, 2013, 22(12): 3403-3414.

11 Chen L, Zheng Y, Gao C, et al. Phylogenetic relatedness explains highly interconnected and nested symbiotic networks of woody plants and arbuscular mycorrhizal fungi in a Chinese subtropical forest. Molecular Ecology, 2017, 26(9): 2563-2575.

12 Zhang J, Hu J B, Lian J Y, et al. Seeing the forest from drones: Testing the potential of lightweight drones as a tool for long-term forest monitoring. Biological Conservation, 2016, 198: 60-69.

13 肖治术, 李学友, 向左甫, 等. 中国兽类多样性监测网的建设规划与进展. 生物多样性, 2017, 25(3): 237-245.

Xiao Z S, Li X Y, Xiang Z F, et al. Overview of the mammal diversity observation network of Sino BON. Biodiversity Science, 2017, 25(3): 237-245. (in Chinese)

14 肖治术, 李欣海, 王学志, 等. 探讨我国森林野生动物红外相机监测规范. 生物多样性, 2014, 22(6): 704-711.

Xiao Z S, Li X H, Wang X Z, et al. Developing camera-trapping protocols for wildlife monitoring in Chinese forests. Biodiversity Science, 2014, 22(6): 704-711. (in Chinese)

15 肖治术, 王学志, 李欣海. 野生动物多样性监测图像数据管理系统CameraData介绍. 生物多样性, 2014, 22(6): 712-716.

Xiao Z S, Wang X Z, Li X H. An introduction to camera data: An online database of wildlife camera trap data. Biodiversity Science, 2014, 22(6): 712-716. (in Chinese)

16 Butchart S H M, Walpole M, Collen B, et al. Global biodiversity: Indicators of recent declines. Science, 2010, 328(5982): 1164-1168.

17 马克平. 监测是评估生物多样性保护进展的有效途径. 生物多样性, 2011, 19(2): 125-126.

Ma K P. Assessing progress of biodiversity conservation with monitoring approach. Biodiversity Science, 2011, 19(2): 125-126. (in Chinese)

18 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录（第二版）. 北京: 科学出版社, 2017.

Zheng G M. A Checklist on the Classification and Distribution of the Birds of China . 2nd ed. Beijing: Science Press, 2017. (in Chinese)

19 Curry A. The internet of animals that could help to save vanishing wildlife. Nature, 2018, 562(7727): 322-326.

20 Kays R, Crofoot M C, Jetz W, et al. Terrestrial animal tracking as an eye on life and planet. Science, 2015, 348(6240): 2478.

21 Bauer S, Hoye B J. Migratory animals couple biodiversity and ecosystem functioning worldwide. Science, 2014, 344(6179): 1242552.

22 Zhang L, Wang X, Zhang J J, et al. Formulating a list of sites of waterbird conservation significance to contribute to China's Ecological Protection Red Line. Bird Conservation International, 2017, 27(2): 153-166.

23 Wikelski1 M, Tertitski G. Living sentinels for climate change effects: Migrating birds affected by climate change in the Arctic may have lower survival chances in their tropical habitats. Science, 2016, 352(6287): 775-776.

24 Cao L, Fox A D. Birds and people both depend on China's wetlands. Nature, 2009, 460(7252): 173.

25 Yu H, Wang X, Cao L, et al. Are declining populations of wild geese in China "prisoners" of their natural habitats?. Current Biology, 2017, 27(10): 376-377.

26 Wang X, Cao L, Bysykatova I, et al. The Far East taiga forest: Unrecognized inhospitable terrain for migrating Arctic-nesting waterbirds?. Peer J, 2018, 6: e4353.

27 Wang X, Cao L, Fox A D, et al. Stochastic simulations reveal few green wave surfing populations among spring migrating herbivorous waterfowl. Nature Communications, 2019, 10: 2187.